ENSGSI 1° Année Ingénieur **D. Maillet**
Vendredi 21 mars 2003

Examen de Transferts et Transports GP2

Durée : 2h00 - Tout document de cours ou TD autorisé

Exercice 1

Un débit d'eau de 450 kg/h est chauffé à l'intérieur d'une conduite de 1 cm de diamètre. La densité *linéique* de flux q_{lin} sur la paroi interne de la conduite est maintenue uniforme et égale à 300 watts par mètre de longueur de conduite. La température d'entrée de l'eau dans la conduite est de 20°C.

1) Donnez la relation existant entre la densité linéique q_{lin} (en Wm^{-1}) et la densité de flux à la paroi q (en Wm^{-2}).

2) Ecrire un bilan thermique permettant de calculer la température moyenne débitante $T_m(x)$ en fonction de la distance axiale x à partir de l'entrée de la conduite.

3) Quelle est la valeur de la température de l'eau en sortie d'un tronçon chauffé de 30 m de longueur ?

4) On néglige les effets d'établissement thermique et dynamique en entrée de la conduite. Calculez le coefficient d'échange interne dans la conduite en précisant bien la valeur retenue pour la température de film. → $x = 30$ m.

5) Tracez l'allure des évolutions spatiales (le long de l'axe) de la température moyenne débitante et de la température de paroi $T_p(x)$.

6) On décide de changer le mode de chauffage en choisissant une densité *linéique* de flux $q_{\text{lin}}(x) = a\,x$ proportionnelle à x, a étant une constante exprimée en Wm^{-2}.

   a) Quelle valeur faut-il donner à la constante a pour que la température de sortie soit la même que dans le cas du chauffage uniforme (voir question 3)) ?

   b) Calculez alors les expressions analytiques des températures débitante $T_m(x)$ et de paroi $T_p(x)$ et tracez qualitativement leurs évolutions.

Exercice 2

La porte verticale d'un four domestique a une hauteur de 0,5 m et une largeur de 0,7 m. Elle atteint une température extérieure de 32°C lorsque le four est en marche. Estimez alors les pertes de chaleur avec l'air ambiant à 22°C. Si la porte a une émissivité de 1,0 et si les parois de la cuisine et les autres parois environnantes sont également à 22°C, comparez les pertes par convection naturelle aux pertes radiatives.

NB : Pour ces deux exercices, les données thermophysiques (à la température adaptée) seront prises dans les tables dont vous disposez.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
EN GÉNIE DES SYSTEMES INDUSTRIELS

ENSGSI — LES INGÉNIEURS, MANAGERS DE L'INNOVATION

inpl nancy

EXAMEN de : GP2

Date : 21/03/03

Nom et prénom de l'Élève : Griffond Benjamin

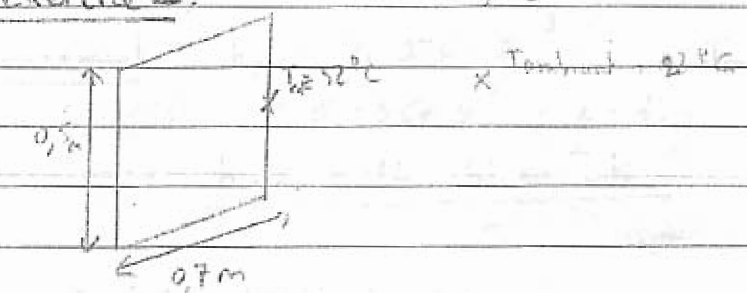
Année : 1 AI

Ne rien écrire dans cette case

15/20

1/2

Exercice 2. 6/6



Estimer les pertes de chaleur et comparer les pertes par convection naturelle aux pertes radiatives.

convection naturelle : $Gr = \frac{g l^3 \Delta T}{\nu^2 T_f}$

Ici $T_f = \frac{T_{ext} + T_{ambiant}}{2} = \frac{32+22}{2} = 27°C = 300 K$.

$\Delta T = 32 - 22 = 10°C$

D'après les tableaux : $\nu = 1,57 \cdot 10^{-5}$ m^2/s

$\lambda = 0,0262$ $W/(m.K)$

$Pr = 0,708$

$g = 9,81$ donc $Gr = 1,66 \cdot 10^8$

$Ra = Gr.Pr = 1,175 \cdot 10^8$

Dans le cas d'une plaque verticale ayant ce Ra, on a :

$Nu = 0,59 \; Ra^{1/4}$

$Nu = 61,4 = \frac{h_c l}{\lambda}$

$h_c = 3,2 \; W.m^{-2}.K^{-1}$

$\phi_c = h_c S (T_{ext} - T_{ambiant})$.

Ici $S = 0,5 \times 0,7 = 0,35$

Donc $\phi_c = 3,2 \times 0,35 \times (32 - 22)$
$= 11,2 \; W$

Les pertes par convection naturelle sont de 11,2 W.

Rayonnement : $h_r = 4 \sigma \varepsilon T_m^3$ $\quad T_m = \frac{22+32}{2} = 27°C = 300K$
$\sigma = 5,67.10^{-8} \quad \varepsilon = 1.$
$h_r = 6,12 \; W.m^{-2}.K^{-1}$

$\phi_r = h_r S (T_{ext} - T_{ambiant})$.
$S = 0,35$

Donc $\phi_r = 6,12 \times 0,35 (32 - 22) = 21,4 \; W.$

On arrive donc à une perte de chaleur totale avec l'air ambiant de $\phi = \phi_c + \phi_r = 32,6 \; W.$

$\frac{\phi_c}{\phi_r} = \frac{11,2}{21,4} = 0,52.$

On a pratiquement deux fois plus de pertes de chaleur par rayonnement que par convection naturelle.

Très

Exercice 1 — 9/14

1 cm

$T_e = 20°C$

$\longrightarrow$ 450 kg/h

$q_{lin} = 300$ W/m

1) Relation entre la densité linéique et la densité de flux à la paroi

$$q_{lin} = \frac{W}{m} = \frac{\phi}{\ell}$$

$$q_{paroi} = \frac{W}{m^2} = \frac{\phi}{2\pi r \ell}$$

$$\frac{q_{lin}}{q_{paroi}} = \frac{\phi/\ell}{\phi/2\pi r \ell} = 2\pi r$$

Donc $\underline{q_{lin} = 2\pi r \, q_{paroi}}$

2) Bilan thermique donnant la température moyenne débitante $T_m(x)$ en fonction de x

On sait que $Q = \dot{m} c_p \Delta T$

Ici, on connait q_{lin} qui vaut $\frac{Q}{x}$ donc.

$$q_{lin} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{x} \qquad \Delta T = T_m(x) - T_e$$

$\dot{m}$ doit être exprimé en kg/s. donc $\dot{m} = 0,125$ kg/s

c_p est pris à 20°C $\qquad c_p = 4182$ J/(kg.K).

$q_{lin} = 300$ W/m.

$$q_{lin} = \frac{\dot{m} c_p (T_m(x) - T_e)}{x}$$

$$T_m(x) = \frac{q_{lin}\, x}{\dot{m} c_p} + T_e = 0,574\, x + 293.$$

3) T_s si $x = 30m$.

Reprenons la formule précédente $T_m(x) = 0{,}5\ 74x + 293$

Ici $T_s = T_m(x)$ et $x = 30m$

donc $T_s = 0{,}5\ 74 \times 30 + 293 \simeq 310\ K$.

4) On considère une conduite de 30m de longueur.

Prenons comme température de film la moyenne entre la température à l'entrée et à la sortie :

$$T_F = \frac{T_e + T_s}{2} = \frac{293 + 310}{2} = 301{,}5\ K.$$

Nous sommes ici en convection forcée donc calculons Re.

$Re = \dfrac{uD}{\nu}$ On sait que l'eau va à $0{,}125\ kg/s = Q_m$

$Q_m = u \times \rho \times S$ $S = \pi r^2 = 3{,}14.10^{-4}$ $\nu = 8{,}34.10^{-7}\ m^2/s$ à T_F (valeur moyenne) $\rho = 997{,}8\ kg/m^3$

Donc $0{,}125 = u \times 997{,}8 \times 3{,}14.10^{-4}$

$u \simeq 4\ m.s^{-1}$ erreur

$$Re = \frac{4 \times 0{,}01}{8{,}34.10^{-7}} = 4{,}8.10^4 > 10^4$$ Nous sommes en régime turbulent

$Nu = 0{,}023\ Pr^{1/3}\ Re^{0{,}8}$ et $Pr = 5{,}68$ (valeur moyenne).

$Nu = 228{,}1$.

$Nu = \dfrac{h_i D}{\lambda}$ ici $\lambda = 0{,}6125\ W/(m.K)$

$$h_i = \frac{228{,}1 \times 0{,}6125}{0{,}01} = 13972\ W.m^{-2}.K^{-1}$$

NON

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
EN GÉNIE DES SYSTEMES INDUSTRIELS

EXAMEN de : GP2

Date : 21/03/03

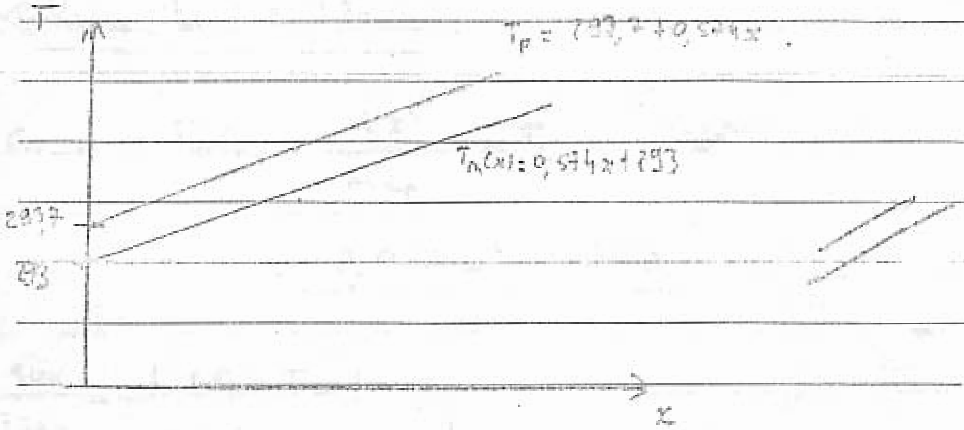
Nom et prénom de l'Élève : Griffond Benjamin

Année : 1e A.I.

Ne rien écrire dans cette case

2/2

5) Allure des évolutions spatiales de $T_m(x)$ et de $T_p(x)$



On a $\phi = hS(T_p - T_\infty)$

$\varphi = h(T_p - T_\infty) = q_{paroi}$

donc $\frac{q_{lin}}{2\pi r} = h(T_p - T_\infty)$ et $T_\infty = 0,574x + 293$.

$9550 = 13\,972\,(T_p - 0,574x - 293)$

$0,68 = T_p - 0,574x - 293$

Donc $T_p = 293,7 + 0,574x$.

6) $q_{lin}(x) = ax$ $\quad$ a en $W.m^{-2}$

a) a pour que $T_S = 310\,K$.

Reprenons la formule précédente : $T_m(x) = \dfrac{q_{lin}\,\Delta x}{\dot m\, c_p} + T_e$

Ici $\cancel{T_S = \dfrac{ax\,\Delta x}{\dot m\, c_p} + T_e}$ NON, Il faut intégrer

Donc $310 = \dfrac{a x^2}{522{,}75} + 293$ $\quad x = 30$

$310 = 1{,}72\,a + 293 \implies \cancel{a = 9{,}88}$ 20

b) Expressions analytiques de $T_m(x)$ et $T_p(x)$
Tracer leurs évolutions

On a $T_m(x) = \dfrac{a x^2}{\dot m\, c_p} + T_e$

$= 0{,}019\, x^2 + 293$

$\dfrac{q_{lin}}{2\pi r} = h\,(T_p - T_\infty)$

$9550 = 13\,972\,(T_p - 0{,}019\,x^2 - 293)$.

$0{,}68 = T_p - 0{,}019\,x^2 - 293$

$T_p = 293{,}68 + 0{,}019\,x^2$